

# METEOROLOGÍA ESPACIAL

Javier Cano Sánchez

*Nuestro universo sería una cosa muy limitada  
si no ofreciera a cada época algo que investigar...*  
Séneca, *Cuestiones naturales*, libro 7, siglo I.

## Preliminares

Nuestra atmósfera (del griego *atmós*, que significa vapor, aire; y *sphaira*, que designa esfera, círculo) es un fluido gaseoso que rodea a la Tierra y a la que está ligada por atracción gravitacional. Está formada por el aire, una mezcla de gases variables según la altura y las circunstancias, que se enrarece progresivamente con la altitud hasta confundirse con el gas interplanetario, sumamente rarificado y prácticamente vacío. Su espesor es de 800 a 1.200 km, aunque no existe un límite superior neto.

En su capa inferior, hasta los 12 km de altura aproximadamente, se suceden los fenómenos meteorológicos con los que estamos más familiarizados, como consecuencia de los procesos físicos internos que tienen lugar en esa masa gaseosa. El origen griego de la palabra *meteoros* hace alusión a los elementos y fenómenos que permanecen elevados o suspendidos en el aire, al menos durante algún periodo de tiempo. Éstos pueden tener un carácter acuoso, como la lluvia, la nieve y el granizo; aéreo, como el viento; eléctrico, como el rayo, las auroras y el fuego de San Telmo; lítico, como la calima, el polvo y las cenizas de los volcanes; o luminoso, como el arco iris y los halos solares o lunares, entre otros. En el seno de la atmósfera se localizan todos y cada uno de los meteoros.

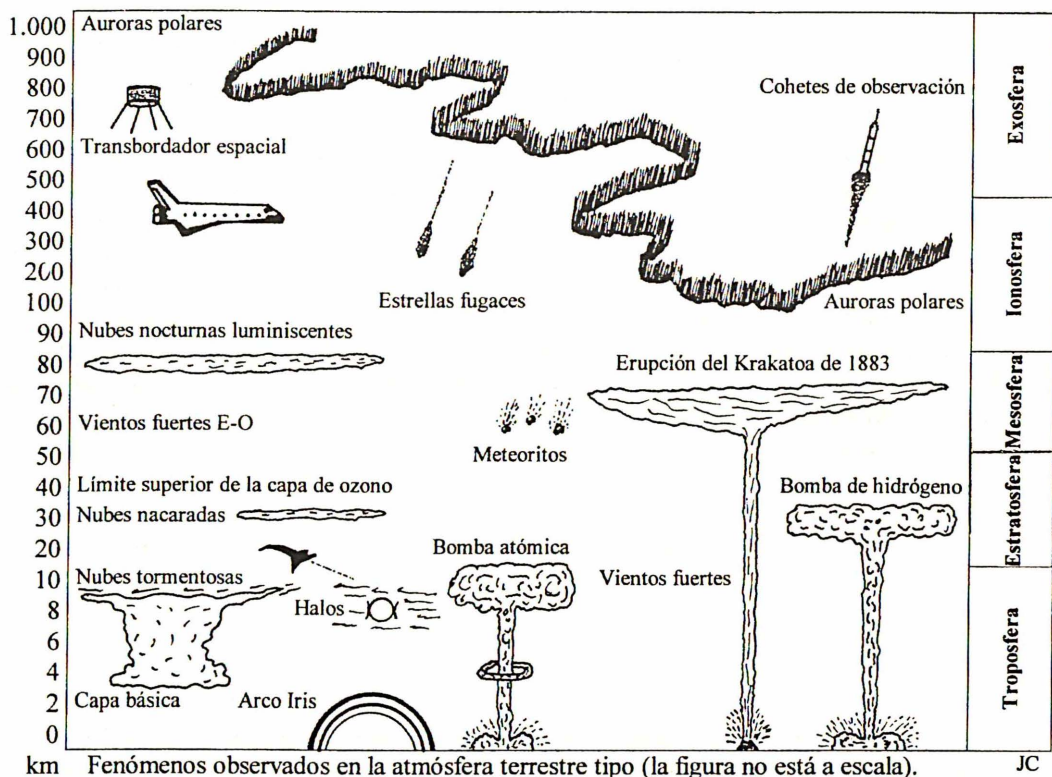
En las capas más altas, por encima de los 12 km, acontecen otra serie de fenómenos, en general, menos conocidos y de diferente naturaleza, principalmente reacciones químicas y eléctricas, aunque no menos importantes que los que se producen más abajo, y que quedarían englobados en una disciplina nada convencional denominada *meteorología espacial*, debido a la manera que se accede para observarlos en esta inmensa región. Esta nueva rama, desarrollada desde hace tiempo por países como Alemania, Estados Unidos, Francia, Japón, Noruega, Nueva Zelanda, Reino Unido y Rusia, entre otros, se encarga de estudiar todo lo que ocurre fuera de la troposfera, abarcando las capas más exteriores de nuestra atmósfera y que va desde la estratosfera hasta la exosfera. Sin embargo, la meteorología espacial aún va más allá, investigando la lejana magnetosfera, zona que rodea a la Tierra y formada por la acción del campo magnético sobre el viento solar; de unos 10 radios terrestres de distancia por el lado del Sol y, todavía más estirado, unos 100 por el lado contrario. También, se ha comenzado a estudiar la heliosfera, o zona de influencia de nuestro Sol, que sobrepasa los límites de nuestro sistema solar -y de nuestro tema-, y que cambia de forma dependiendo de su actividad, en un ciclo aproximado de 11,2 años.

## Antecedentes históricos

El acceso a la atmósfera libre estuvo largo tiempo vedado a los meteorólogos, ya que, las primeras observaciones puede decirse que comenzaron en 1749, cuando Alejandro

Wilson, en la ciudad de Glasgow, elevó una cometa con un termómetro para medir la temperatura del aire a cierta altura, aunque ya en 1646 el filósofo, teólogo y matemático francés Blaise Pascal había demostrado que la presión atmosférica disminuía con la altura. En la segunda mitad del siglo XVIII, con los primeros vuelos mediante globos aerostáticos de aire caliente, iniciados por los hermanos Montgolfier en 1782, se realizaron algunos pequeños experimentos que poco o nada contribuyeron al conocimiento real de la atmósfera (en 1786 se realiza la primera ascensión de un globo sonda meteorológico). En 1804, el físico y químico francés Louis Joseph Gay-Lussac ascendió en globo en solitario hasta los 7.016 m de altura, realizando una última toma de muestra de aire a 6.675 m con el fin de analizarlo. Anteriormente, en 1783, otro químico francés, Antoine-Laurent de Lavoisier ya había identificado el nitrógeno y el oxígeno como los principales gases componentes del aire.

Sin embargo, no fue hasta el periodo de años comprendido entre 1862 y 1866 cuando se comprobó por primera vez, desde el observatorio de Greenwich, el descenso general de la temperatura con la altura. Esto condujo más tarde, en la década de 1890, a iniciar y generalizar el uso de globos para la exploración de la atmósfera, con instrumentos registradores, hasta que en el primer día aerológico internacional, celebrado en París en 1896, un globo sonda que alcanzó los 13,8 km de altura puso de manifiesto que hacia los 11,2 km de altitud se había producido una inversión térmica. Estudios posteriores a este descubrimiento, entre 1899 y 1902, Teisserenc de Bort anuncia la existencia de una zona isoterma en la atmósfera: la estratosfera, y el establecimiento de la tropopausa como frontera entre las dos capas inferiores de la atmósfera.



Fenómenos observados en la atmósfera terrestre tipo (la figura no está a escala).

JC



A partir de 1903, coincidiendo con el comienzo de la moderna aviación, empezaron a incorporarse en los aviones instrumentos de medida meteorológicos, lo que supuso una valiosa información acerca de las capas atmosféricas que escapaban del alcance natural del hombre, si bien seguían considerándose como bajas. Pero, hasta el año 1927, cuando se inventan la radiosonda y la técnica del sondeo con globo, no se inicia el verdadero conocimiento y comportamiento de determinadas variables, como la presión, la temperatura, la humedad y, más tarde, el viento, en alturas cercanas a los 40 km. Simultáneamente, y de forma complementaria, se empleaban los globos flotantes de larga duración, que transportaban instrumentos de medida y transmisión a alturas variables, capaces de proporcionar observaciones de la atmósfera libre para completar los obtenidos en los sondeos verticales.

Pero, a pesar de todos estos avances alcanzados, aún existían grandes incógnitas. De hecho, no es hasta el comienzo de la década de 1950 cuando, con la incorporación de los primeros cohetes con instrumentos meteorológicos incorporados, se realizan observaciones directas de las regiones altas de la atmósfera, que llegan hasta los 800 km de altura y proporcionan información detallada de la presión, temperatura, densidad y viento, así como, de rayos X y ultravioletas del Sol, corrientes ionosféricas, rayos cósmicos de baja energía, partículas aurales y campos magnéticos, aunque desde 1925 ya se venía explorando la termosfera de forma indirecta mediante ondas electromagnéticas.

Pocos meses después de que los soviéticos enviaran al espacio el satélite *Sputnik I*, el 4 de octubre de 1957, fue lanzado por Estados Unidos el primer satélite meteorológico, el *Tiros I*, capaz de proporcionar fotografías globales de día e imágenes en infrarrojo de noche, de los sistemas de nubes y del tiempo, lo cual supuso un gran progreso técnico y una herramienta fundamental para la exploración y el conocimiento del tiempo atmosférico. Más tarde, en 1964, vendrían los lanzamientos de satélites de tipo geoestacionario (el primer *Meteosat* no lo hizo hasta 1977).

Otro de los logros alcanzados, aunque de manera indirecta, fue el conseguido por algunos aviones que inicialmente se diseñaron con fines militares para recoger información secreta a gran altitud, como el *Blackbird*, avión que puede volar tres veces más rápido que la velocidad del sonido (a casi 4.000 km/h), y que fue utilizado por el ejército estadounidense desde 1967 hasta 1990. Hoy en día, la NASA mantiene operativos tres de estos aviones para investigaciones científicas en las capas relativamente altas de la atmósfera, entre la troposfera y la estratosfera (hasta 25 km de altura o un poco más), y realizan vuelos de reconocimiento de fenómenos meteorológicos adversos, especialmente sobre los huracanes que se forman en el océano Atlántico y los tornados que se originan en el medio oeste norteamericano, con el objeto de obtener información que mediante otros procedimientos no podrían efectuarse. Además, existen varios aviones de investigación más avanzados, desarrollados también por la NASA, que combinan los motores turboreactores con la incorporación de pequeños cohetes. Este nuevo concepto de motor, el *scream reactor*, un estatorreactor de combustión supersónica, utiliza del modo más eficiente el aire que fluye alrededor del aparato.

No cabe duda que la puesta en funcionamiento de los transbordadores espaciales o lanzaderas ha contribuido, junto con los satélites de observación y las sondas interplanetarias, al mayor de los avances para conocer nuestra atmósfera más lejana y las interacciones que la actividad humana está provocando en ella. Son naves que, después de realizar un viaje por el espacio (en la región de la termosfera), vuelven a la Tierra aterri-



zando como un avión y pueden ser reutilizados, su gran ventaja. Para escapar de la gravedad terrestre una lanzadera espacial debe alcanzar una velocidad de 40.000 km/h, para lo cual requiere unos potentes cohetes propulsores y un tanque gigante de combustible. Después del despegue, se pone en órbita, dando un número definido de vueltas a diferentes alturas (desde 50 hasta 600 km o más, aunque lo normal es que navegue entre 200 y 300 km sobre nuestro planeta), con el fin de cumplir una determinada misión. El primero de ellos, la *Columbia*, fue lanzado el 12 de abril de 1981 por Estados Unidos. Actualmente cuatro de estos transbordadores (*Atlantis*, *Discovery* y *Endeavour*, además del ya citado) realizan trabajos de investigación en el campo de la meteorología espacial, en el que están incluidos todos los fenómenos que acontecen entre la región de la estratosfera y la zona más exterior de la atmósfera, la exosfera.

## ¿Cómo se observan las capas de la atmósfera?

La troposfera, de 12 km de espesor, es la capa de menor volumen pero de mayor densidad debido a que contiene las tres cuartas partes de la masa total de la atmósfera. Es aquí donde sucede la actividad meteorológica más conocida (lluvia, tormentas, niebla, formación y disipación de nubes, etc.). Esta región, por ser la más importante desde el punto de vista meteorológico, además de porque en ella se desarrolla toda la actividad humana, está incesantemente vigilada a través de redes de observación situadas tanto en la superficie de la tierra y el mar, con estaciones meteorológicas y radares, como desde el espacio, a través de los satélites, que envían imágenes de forma continua, así como desde otras misiones espaciales de programación menos constante como los transbordadores o las sondas interplanetarias.

La estratosfera, que a su vez incluye la ozonosfera, llega hasta los 50 km de altura, y contiene casi la cuarta parte de la masa de los gases atmosféricos. La zona comprendida entre los 20 y 40 km de altitud destaca por su mayor contenido en ozono, menor en vapor de agua y muy poca nubosidad. La principal función del ozono estratosférico es defender la vida que se mantiene sobre la superficie terrestre contra la dañina radiación ultravioleta. A una altura de 30 km se distinguen nubes de aspecto nacarado, constituidas por núcleos de condensación cubiertos de hielo, que sólo se observan después de la puesta del Sol. Esta capa de la atmósfera es analizada varias veces al día con radiosondas que pueden alcanzar los 40 km de altura, ya que, hasta el presente, son muy pocos los aviones de vuelo estratosférico capaces de alcanzar esta región. Todos, excepto uno, el comercial francobritánico *concorde*, son de uso militar o con fines científicos, y pueden llegar hasta los 25 km de altura. La potencia de las turbinas de reacción de sus motores proviene de la quema del combustible mediante la succión del aire, que después de mezclarse, se enciende, estalla y es expulsado como chorro de gases calientes, consumiendo enormes cantidades de oxígeno, lo que supone un serio problema para el mantenimiento y equilibrio de algunos componentes de esa parte de la atmósfera. Por poner un ejemplo, en cada uno de los seis vuelos que se efectúan a diario en el *concorde* entre las ciudades de Londres y Nueva York o París y Nueva York, a 2 *mach* (cuando la velocidad del sonido es superada dos veces) y con una duración de 3 horas, se consumen 85 toneladas de combustible, agotando a su paso el oxígeno molecular que tiene como misión a esta altura la de formar la capa de ozono estratosférico.

La mesosfera, que se localiza entre los 50 y los 80 km de altura, se caracteriza porque la temperatura de la atmósfera vuelve a decrecer con la altura, porque con frecuencia se

producen vientos de dirección E-O cuya velocidad llega hasta 200 km/h y por la formación de nubes nocturnas luminiscentes. Este último fenómeno, observado por primera vez en 1885, y cuya aparición queda restringida a latitudes geográficas comprendidas entre los 45 y 70° y a alturas entre 70 y 90 km, está constituido por núcleos de condensación cubiertos de hielo. La mesosfera, al estar demasiado elevada para ser accesibles a los globos sonda y aviones, se suele investigar mediante cohetes, lanzaderas espaciales y satélites.

La termosfera se extiende desde los 80 km de altura hasta los 600 km. En ella los gases están fuertemente ionizados por su alta concentración de electrones libres, formando capas bien diferenciadas capaces de conducir la electricidad y de reflejar las ondas electromagnéticas. Esta ionización se debe principalmente a la presión tan pequeña que hay, a la radiación solar ultravioleta, a los rayos X y al choque entre partículas de alta energía con las moléculas neutras de la atmósfera, transformándolas en iones. Sin embargo, uno de los fenómenos más espectaculares que tienen lugar en esta región es la aurora polar; tanto boreal, si es al norte, como austral, si es al sur. Se pueden originar desde los 100 hasta los 1.200 km de altura, aunque se presentan con mayor frecuencia entre los 200 y 400 km, de forma simétrica y simultánea en ambos polos. La formación de las auroras está ligada a la actividad mostrada por el Sol, a través del viento solar, y al campo magnético de la Tierra, encargado de atrapar las partículas que proceden del Sol. En la actualidad, se recurre a los satélites, transbordadores espaciales y cohetes para el sondeo de la termosfera, lo que ha permitido obtener nueva información acerca de la concentración electrónica existente.

La capa externa o exosfera contiene menos del 1% de la masa total de la atmósfera. Está compuesta por gases que se encuentran en estado atómico, pudiendo extenderse hasta los 1.200 km de altura como lo han probado las observaciones de auroras polares. Esta región, en donde algunas de las moléculas de gas empiezan a escapar del campo gravitatorio terrestre, es estudiada principalmente por los satélites de órbita polar que suelen navegar a estas altitudes, completando una órbita en unos 90 minutos. Fuera de la exosfera, donde los campos magnéticos originados por la rotación de la Tierra nos protegen del viento solar (la magnetosfera), operan los satélites geoestacionarios, a unos 36.000 km de distancia, transmitiendo información de lo que sucede más abajo.

Finalmente, mediante programas más costosos, aunque menos regulares, son enviadas al espacio sondas interplanetarias que recorren distancias de millones de kilómetros, a velocidades de 65.000 km/h. Están diseñadas para poder tomar desde imágenes de los bucles coronales que se forman en la superficie del Sol -algo así como erupciones solares gigantescas- hasta investigar el choque que producen las partículas emitidas por el viento solar o por otros cuerpos que provoca el viento interestelar, a los cuales no estamos ajenos ni en el espacio ni en el tiempo.